

ISSN 1343-912X

Wood Science in Kyushu

木科学情報

28卷3号 2021



日本木材学会九州支部

目 次

巻頭言

“シニアへのエール”－期待値か、唯一無二か－……………近藤哲男 37

特別寄稿

木材学会賞受賞のご報告と研究紹介……………亀井一郎 38

現場の声

弊社における木製ガードレールの動向……………角 博 42

解説・主張

シカによって剥皮されたサラサドウダンの樹皮の再生……………阪上宏樹 46

資料

九州の広葉樹3－ヤブツバキ－……………内海泰弘 50

編集後記……………52

●「レビュー」原稿募集！●

木科学情報では、会員の皆様からの投稿原稿を募集しています。
投稿された原稿の中から、特に優秀なものについては黎明賞（論文）の対象
といたします。
奮ってご応募ください。

巻頭言

“シニアへのエール” 一期待値か、唯一無二か一

近藤 哲男



今世紀に入って20年が経過する。この20年で日本人自然科学系ノーベル賞受賞者は、海外在住日本出身の受賞者を含めると、2000年（ミレニアム）の導電性高分子の発見の白川英樹先生から本年2021年の気候の物理的モデリング予測の眞鍋淑郎先生まで、20人に及ぶ。それまで受賞された方が1949年の湯川秀樹先生から1987年の利根川進先生までの5人と比較すると、格段のひらきがある。一方、これまでの日本人受賞者の受賞時の平均年齢は65.9歳で、ミレニアム前の5名の受賞者平均年齢52歳に比べ、この20年間で20名の受賞者平均は69.4歳と高くなっている。これは、実際のところ、1950年代ごろから現在にかけて、すべての伝統的科学的分野でノーベル賞受賞時の年齢が上昇する傾向と連動している。物理学を例にとると、100年前には物理学者は世界にわずか1000人ほどしかいなかったのに対し、現在は推定100万人もいる。このような科学者の増加のため、人生の早い段階で発見に成功していても、ほかにも多くの科学者が同じように発見しており、ある意味順番待ちになっているのである。

本巻頭言で私が述べたいのは、上述のミレニアム以降で急激に増加した日本人受賞者が、どの時代に教育を受け、どういう研究環境の中で研究を続けてきたのか、という点である。69.4歳から逆算すると、博士課程の教育を受けていたのは40年-45年くらい前、すなわち1980年あたりに相当する。少し上の世代であるので、そのころの研究教育は私も記憶によく残っている。研究室は、小講座制で教授以下助手まできちんとした階層構造を持った研究教育体制で、大学院生も博士3年生（オーバードクター）を筆頭に、学部生まできちんとした徒弟制度で研究室運営が国立大学ではなされていたと思う。

私もこれがよいとは必ずしも思わない。学生の立場では、とても窮屈なところもあり、自由な研究

をさせていただけないこともあり、また研究室のいわゆる「躰」も厳しかった。しかし、その結果が、「唯一無二」の成果をあげ、今の日本の自然科学系におけるノーベル賞ラッシュにつながっていることも事実である。このような大学院生には厳しい環境だったからこそ、いつかは「唯一無二」の存在になってやろうという強い逆ばねが働いていたのではなからうかとも思う。こういって、もう時代が変わるといわれるかもしれないが、社会の変遷に関わらず、客観性を追求する科学の姿勢はそう変わっていないはずである。

一方、日本の研究教育行政において、特に研究費の公募でこの10年でよく目にしてきたのは、公募者の年齢制限45歳未満である。誰がこの45歳を設定したかわからないが、若手の研究者を手厚く研究費でカバーすれば、成果がでるであろうという「期待値」からか。まだ成就してないものに期待値をかけるだけが後進への指導であろうか？これで、20年後も今の日本の科学レベルを維持できるのだろうか？後進に期待をかけるだけでは、責任転嫁しているに過ぎない。

では、依然として変わらない研究教育行政の中にある指導的立場にあるものは、どうしたらよいのであろうか？最近では、企業の技術者ばかりでなく、「唯一無二」のシニア研究者が海外に研究の場を求めて流出してしまう事例も多くなってきている。こうなると、「期待値」に背中をみせる「唯一無二」がなくなってしまい、期待値のままから脱皮できなくなってしまう。

こういう時代になっているからこそ、私は「唯一無二」のシニア研究者、シニア技術者の諸氏に、もっともっと積極的に「期待値」に背中を見せていただきたいと思う。

（こんどう てつお：九州大学大学院農学研究院）

特別寄稿**木材学会賞受賞のご報告と研究紹介**

亀井 一郎

**1. はじめに：謝辞**

この度、第61回日本木材学会賞を受賞させていただきました。13年という期間、宮崎大学でともに研究してくれた学生の皆さんに心から感謝するとともに、木材学会九州支部会員の皆様からの日頃のご指導、ご助言によるものが大きいと感じております。心から感謝申し上げます。本受賞に関連して原稿をとご依頼いただき執筆いたしました。すでに2013年と2016年に本誌にて研究紹介をさせていただきました。その後の進展を報告させていただきますが、一部重複する内容がございます。どうぞご容赦ください。

2. 最近の雑感

私たちが目で見、耳で聞き、肌で感じることができる世界は限られています。したがって確信が持てる真実というものは言葉の通じる人間同士の間で起こることですら時に曖昧なものです。言葉の通じない異種生物であればなおさらのこと、起こった現象を様々な観察や分析手法で追いかけて、もっともらしい理由をつけ私たちの概念に当てはめて考察しますが、それが真実かはわかりません。

私の研究対象は白色腐朽菌というきのこの仲間である微生物や、その周辺に生息している細菌などですが、もしも彼らと言葉を交わすことができれば聞いてみたいことがたくさんあるなと時々思います。私がもう少し若かった頃は、寝ているときによく微生物が夢に出てきてワクワクするような研究のヒントをくれました。最近は何を取ったのか、頭が固くなったのか、そのようなことが少なくなったのが残念です。

今回ご紹介する研究は、白色腐朽菌単独、もしくは細菌との共培養によるリグノセルロースの変換

に関する研究ですが、白色腐朽菌と細菌を共培養するという部分は、前述のように夢で思いついた内容でした。

3. 研究の背景

地球温暖化問題が顕在化する中、木質バイオマス由来の化成品はその重要性を増しています。木質をはじめとするリグノセルロースから輸送用燃料や化成品原料として利用可能な化合物を生産する技術開発は、バイオリファインリーとして世界各地で推進されてきましたが、リグニン除去する前処理において薬品や高いエネルギーを投入せざるを得ず、環境負荷の高さが問題視されてきました。そこで、各プロセスを微生物反応に統合する研究がすすめられてきましたが、脱リグニン能の付与には至っていませんでした。

4. 白色腐朽菌のみで木質の発酵を完結する Integrated fungal fermentation に関する研究

2013年と2016年の原稿に一部記していますが、その後の進捗を踏まえて成果を簡単に報告します。本研究では、木質の脱リグニン、糖化、発酵を微生物反応のみで完結するプロセスの確立を目指しました。脱リグニン能を持つ白色腐朽菌が、セルロースの糖化・発酵能を持てば生物的処理だけで木質をバイオ燃料に変換できると仮説を立て、セルロースから直接エタノールを生産できる白色腐朽菌の選抜を行い、セルロースを効率よく加水分解し同時にエタノール発酵を行う白色腐朽菌 *Phlebia* sp. MG-60株を選抜しました¹⁾。本菌は、セロビオースやマルトース等の二糖類の発酵能も有しており、広葉樹・針葉樹未晒クラフトパルプや、新聞紙等リグニンを含むセルロース資材から高効率でエタノールを生

成できることを示しました¹⁾。さらには、酵母で発酵することができないキシロースの発酵能も保持することが明らかとなりました¹⁾。近年ではこのキシロース発酵能が、*Phlebia* 属の白色腐朽菌に広く保存されている特性であることを明らかにし²⁾、*Phlebia* 属白色腐朽菌数種によりキシロースポリマーであるキシランの直接発酵が可能であることを示しました²⁾。

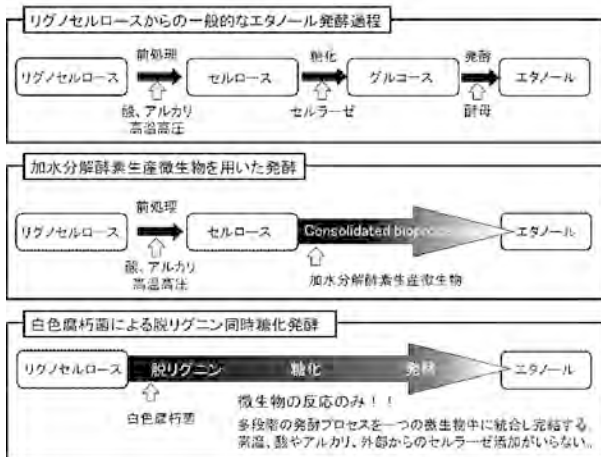


図1 Integrated Fungal Fermentation の提案

Phlebia sp. MG-60 株は、高濃度の未晒クラフトパルプ³⁾、アルカリ処理後のサトウキビバガス⁴⁾やタケ⁵⁾、シイタケの廃菌床⁶⁾などの広範なリグノセルロース資源を、外部から糖化酵素の添加なしに菌単独でエタノール発酵できることを明らかにしました。近年では、*Phlebia* sp. MG-60 株の遺伝子導入法を確立し、相同組換えによるピルビン酸デカルボキシラーゼ遺伝子のノックアウトに成功しました⁷⁾。エタノール発酵能を失った形質転換体を用いることでセルロースからグルコースを、キシロースからキシリトールを蓄積することに成功しました⁷⁾。さらに、*Phlebia* sp. MG-60 株の脱リグニン能を生かし、好気固相培養（脱リグニン行程）と嫌気液体培養（糖化・発酵工程）を組み合わせることで、広葉樹木粉やサトウキビバガスを菌単独でエタノールへと変換できることを示し^{8,9)}、微生物反応のみで木質バイオマスを変換できることを証明しました。脱リグニン、糖化、発酵のすべてのプロセスを単独微生物に統合した本プロセスを

Integrated fungal fermentation (IFF)と名付けました^{8,9)}、(図1 下段)。

5. きのご廃菌床の発酵基質としての可能性

前述のとおり、特殊な白色腐朽菌を用いれば生物的脱リグニン、糖化と発酵を統合することが可能であることが示されました。しかしながら、白色腐朽菌による前処理すなわち生物学的脱リグニンは、長い処理時間を必要とし、温度と湿度を維持するためのコストが高くなり工業的な利用は難しい側面があります。したがって、脱リグニン前処理工程を何らかの生産物の製造工程とすることができれば、プロセス全体のコストを大幅に削減することができると考えられます。ほぼすべての栽培可能な食用きのこは白色腐朽菌であるため、きのこ栽培プロセスは生物的脱リグニン工程として有望であると考えました。

白色腐朽菌 *Lentinula edodes* (シイタケ) は、我が国をはじめアジアで最も重要な食用きのこのひとつです。子実体収穫後の使用済み廃菌床は、堆肥化、土壌へ混合、燃焼または廃棄されます。シイタケ栽培後の菌床は、原料木材が「おが粉」に粉碎されているため粒子サイズが小さいこと、セルロースの結晶化度が低いこと、リグニン含有量が低いことなど良好なバイオリファイナリー原料としての条件を備えています。筆者らの研究グループでも、シイタケを栽培した後の菌床中には多くのセルロースが残存し、リグニン含量が低いために高い効率で酵素糖化できることが示されました⁶⁾。一般に、シイタケの菌床栽培では、子実体を収穫した後の菌床を休ませ、再び子実体発生処理を行うことを繰り返し、同一菌床から複数回の子実体収穫を行います。この栽培過程における菌床の化学組成の変化と酵素糖化性、発酵性を調べたところ、栽培期間が長くなるにつれてリグニン含有率が低下し、酵素糖化性が向上しました。また、前述したエタノール発酵性担子菌 *Phlebia* sp. MG-60 でシイタケ子実体収穫後の菌床を発酵したところ、良好な発酵性が示されました⁶⁾。これらの結果から、シイタケ栽培を木質バイオマスに対する効果的な生物学的前処理と見なす

ことができると考えられました。栽培法や栽培きのこの品種でその効果が異なってくる可能性はありますが、きのこ栽培とバイオリファイナリーの組み合わせは、費用対効果の高いバイオプロセスとして大きな可能性を秘めていると考えています (図 2)。

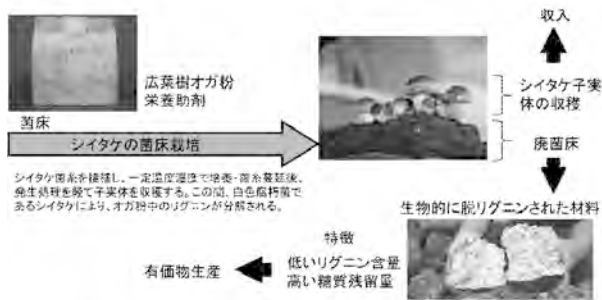


図2 シイタケ菌床栽培を脱リグニン工程としたバイオリファイナリーの概念図

6. 白色腐朽菌機能向上のための代謝工学的アプローチ

前述したように、リグノセルロースからエタノールを生成できる白色腐朽菌の選抜に成功し、IFFを提案した我々の次の研究ターゲットは、エタノール以外の有価物をリグノセルロースから微生物反応のみで生成する技術の開発でした。その近道と考えたのが、先に述べたエタノール発酵性担子菌 *Phlebia* sp. MG-60 の遺伝子組み換えにより、セルロースからエタノール以外の生成物を作り出す菌を創出することでした。

一般に担子菌類の遺伝子組換えは難しいとされます。しかしながら限られた数ではありますが、遺伝子組換え技術を用いた白色腐朽菌の能力向上を目指した研究も報告されています。リグニン分解酵素のマンガンペルオキシダーゼ遺伝子を高発現プロモーター制御下で発現させてリグニン分解能力の向上を目指した例や、本来リグニン分解酵素を持たない褐色腐朽菌のラッカーゼ遺伝子を強制発現させてリグニン分解能力を発現させた例もあります。

筆者の研究グループは、エタノール発酵性担子菌 *Phlebia* sp. MG-60 の形質転換系を確立し、糖質代謝関連の改変に挑みました。例えば、MG-60 株のピ

ルビン酸デカルボキシラーゼ遺伝子のノックダウンと同時に、*Rhizopus oryzae* 由来の乳酸デヒドロゲナーゼ遺伝子の強制発現することで、セルロースからの乳酸生成を試みました。しかしながら、生成された乳酸はごく微量であり、とても代謝変換により乳酸生成菌を分子育種できたとは言えない結果でした。また、セルロースの加水分解過程で生じるセロビオースを加水分解する β グルコシダーゼ遺伝子のノックダウンを試み、セルロースからセロビオースを生成する菌の分子育種にも取り組みました。しかしながら、やはり生成されたセロビオースはごく微量であり、成功したとは言えませんでした。このほかにも、いくつかの代謝改変に取り組みましたが、いずれもうまくいきませんでした。

他の研究グループとの報告と合わせて考えても、担子菌の分子育種が可能であることは示されているものの、その生成物の濃度が低いことや、目的物質への変換効率が実用レベルに達していないことなどが常に問題点となっています。これは、効率の良い遺伝子組換え法や、遺伝子ターゲティング法 (特定の目的とする遺伝子を破壊もしくは改変する) が未開発であることが原因の一つです。担子菌は相同組み換えによる遺伝子のターゲティングが難しく、我々は RNA 干渉 (RNAi) による遺伝子のノックダウンを採用しましたが、遺伝子の発現抑制効果が低いことも多く、ドラスティックな代謝改変を達成するには不向きと考えられました。

上記のように、遺伝子組み換えによる代謝工学的なアプローチは暗礁に乗り上げましたが、微生物反応のみでリグノセルロースから有価物を作るために次に考えたのが、担子菌と細菌との組み合わせ、すなわち複合微生物系の構築でした。

7. 白色腐朽菌と細菌との複合微生物系によるバイオマス変換

自然界における木材腐朽は複合微生物系であり、様々な細菌類も腐朽木材中に存在していることが分かっています。しかしながら、その役割や関係性はよく分かっていません。筆者らの研究グループは、同一腐朽木材から白色腐朽菌とその共存細菌と

を分離し、共培養を行うことで細菌類が白色腐朽菌に与える影響について検討してきました。その結果、ある種の細菌と白色腐朽菌との組み合わせで白色腐朽菌の菌糸成長の促進や^{10,11)}、木材腐朽の促進が観察されました¹²⁾。すなわち、白色腐朽菌と細菌との複合微生物化が可能であることを示してきました。そこで、先に述べた *Phlebia* sp. MG-60 と、嫌気条件下でアセトン-ブタノール-エタノール発酵 (ABE 発酵) を行う *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* との共培養を試み、未晒クラフトパルプからのブタノール生産を試みました。その結果、共培養区でのみ顕著なブタノール生産が確認されました¹³⁾。これは、*Phlebia* sp. MG-60 によりクラフトパルプが加水分解され、生じたグルコースおよびセロビオースが *C. saccharoperbutylacetonicum* によりブタノールへ変換されたことを意味します (図 3)。興味深いことに、*Phlebia* sp. MG-60 単独での培養よりも、*C. saccharoperbutylacetonicum* と共培養した方が発酵処理後に残存するグルカン量が少ないことが明らかとなりました。これは、共培養により *Phlebia* sp. MG-60 によるセルロースの加水分解が促進された可能性を示します。メカニズムについては今後の詳細な研究が必要ですが、嫌気的な環境下で白色腐朽菌と嫌気性細菌を共培養し、異種微生物の代謝系を統合できたことは興味深い知見と考えています。このように、白色腐朽菌と異種微生物との複合微生物系の構築が、新しいプロセスの提案につながると考えています。



図3 白色腐朽菌と細菌複合微生物系によるリグノセルロースからのブタノール発酵

8. おわりに

期待通りに得られなかったデータ、すなわちネガティブデータの発表の場というものは限られていますが、次の研究の発想につながる可能性があります。今回は、大きな労力を払いながら期待通りに進まなかった遺伝子組み換えの研究から、微生物の共培養の研究へと移った過程も含めて書かせていただきました。睡眠中に微生物の夢をなかなか見なくなった今、次の研究展開を模索中ですが、またよい報告ができるといいなと思っております。今回は執筆の機会をいただきましてありがとうございます。

引用文献

- 1) I. Kamei et al., *Bioresour. Technol.*, **112**, 137 (2012)
- 2) I. Kamei et al., *Appl. Biochem. Biotechnol.*, **192**, 895 (2020)
- 3) I. Kamei et al., *BioResources*, **9**, 5114 (2014)
- 4) L. D. Khuong et al., *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, **88**, 62 (2014)
- 5) C. L. Tri et al. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, **133**, 86 (2018)
- 6) I. Kamei et al. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, **167**, 33 (2014)
- 7) T. Tsuyama et al. *Bioresour. Technol.*, **238**, 241 (2017)
- 8) I. Kamei et al. *Bioresour. Technol.*, **126**, 137 (2012)
- 9) L. D. Khuong et al. *Bioresour. Technol.*, **167**, 33-40 (2014)
- 10) I. Kamei et al. *Curr. Microbiol.*, **64**, 173 (2012)
- 11) J. L. Harry-asobara et al. *J. Wood Sci.*, **64**, 444 (2018)
- 12) I. Kamei *Curr. Microbiol.*, **74**, 125 (2017)
- 13) C. L. Tri et al. *Bioresour. Technol.*, **305**, 123065 (2020)

(かめい いちろう : 宮崎大学農学部)

現場の声

弊社における木製ガードレールの動向

角 博



1. はじめに

平成 22 年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が制定されました。それ以降農林水産省をはじめ国土交通省でも同法に基づき基本方針が策定され公共建築物における木材の利用が積極的に取り組まれていきました。そのような状況の中、木製ガードレールにおいても、法律第三十六号第十八条の中で「国及び地方公共団体は、木材を利用したガードレール、高速道路の遮音壁、公園の柵を設置することが、その周囲における良好な景観の形成になり、利用者等を癒すものであることにかんがみ、それらを促進する・・・」（要約文）と明文化され、国産材を活用した木製ガードレールの需要拡大に向けた技術的対応や製品開発が様々な分野で活発となり、県レベルにおいても県産材を活用した木製ガードレールの普及拡大を後押しすることに繋がっていきました。

保存処理木材の業界団体である日本木材防腐工業組合においても、薬剤処理を施した（K4 相当）木製ガードレールの仕様の開発や実車衝突試験などを行い製品の標準化を実現するとともに、パンフレットの作成や講習会の開催等を通じて全国への普及拡大を積極的に行ったのもこの時期でありました。さらに宮崎県のコンクリートメーカーが早々に木製ガードレールの開発販売に着手するなど、スチールやコン柱と国産材を組み合わせたハイブリットな木製ガードレールの開発も各地で進展していきました。弊社のある福岡県においても県産材杉の需要拡大、景観の向上、そして県民の癒しの醸成を目的に木製ガードレールを柱とした、防護柵や転落防止柵、さらには自然歩道製品における木材利用が県の方針として打ち出されました。

2. 弊社における木製ガードレールの開発

弊社においてもエコアコールウッドを活用した自社独自製品の開発に取り組んできました。平成 25 年には「エコアコールウッド C 種ガードレール」（土中用）の開発が福岡県のご支援のもと林野庁補助事業に採択され、その実車衝突試験が平成 25 年 10 月に茨城県つくば市にある日本自動車研究所衝突試験場で行われ見事に合格することができました。



（試験状況：大型貨物車と普通乗用車）



(衝突試験前)



(車両防護柵性能確認試験実施証書)

当時を振り返ると森林総合研究所の加藤先生のご指導をいただきながら、衝突試験場にエコアコールウッドC種ガードレールを52M分(2回分)運び込み大型貨物車と普通乗用車による衝突試験を行いました。私も社員と一緒に現場に立ち会いましたが、会場の広さや施設の大きさそして緊張感あふれる物々しい雰囲気には圧倒されるとともに、トラックが衝突した時の衝撃音には大変驚いたことを今でも鮮明に記憶しています。そして、衝突試験終了後無残にも傷だらけになった

エコアコールウッドを眺めながら「多分大丈夫ですよ」という関係者の声に、緊張がほぐれるとともに、この衝突試験のために一生懸命に努力してくれた社

員への感謝の念で胸がいっぱいになったことが今でも心に残っています。

3. 木製ガードレールの採用実績

ここで福岡県における木製ガードレールの採用実績(弊社データ)について触れておきます。別表の通り平成26年度から予算化され福岡県内の林道を中心に毎年採用されてきました。

エコアコールウッドC種ガードレール採用実績一覧表(福岡県分)

年度	林道	県道	市道	農道	合計(m)
平成26年	1638	228	54		1920
平成27年	2320	178	56		2554
平成28年	1378	88			1466
平成29年	1104	90	46	190	1430
平成30年	984	80			1064
令和1年	1462				1462
令和2年	1194				1194
合計	10080	664	156	190	11090

(エコアコールウッドC種ガードレール採用実績一覧表)

平成26年度から令和2年度までの採用実績は7年間で11090メートル(弊社出荷ベース)となっています。全て福岡県産材杉材を使用したエコアコールウッドC種ガードレールであります。



(県道564号線)



(林道)



(林道)

中でも特筆すべきことは、県道をはじめ市道にも採用実績があることです。これは福岡県農林水産部が県土整備部や県土事務所さらには各市町村に対して、福岡県産材を活用した木製ガードレールの普及活動を率先し熱心に行ったことが大きな要因だと思っています。さらに県道に使用してもらうために福岡県警にも木製ガードレールの安全性とその必要性について熱心に働きかけをされたことは大変素晴らしいことだと思っています。

尚、エコアコールウッド C 種ガードレールが長年にわたり福岡県で採用されている理由についてご紹介しておきます。

- (1) 在庫型販売による短納期の実現
木部（エコアコールウッド）、鋼材、ボルトは常に 1000 メートル分を在庫している
- (2) 木部はエコアコールウッド（杉材）を使用
木部は割れ抑制効果と寸法安定性があり厳島

神社をはじめ 20 年以上の採用実績がある高耐久性木材エコアコールウッドを使用している

(3) 横梁は木材と不等辺山形鋼のハイブリット構造のため木部に傷が入っても強度が保てる

(4) 車両の衝突や接触による木部の交換はいつでも可能である

以上が主な理由ですが、特に木部にエコアコールウッドを使用することにより在庫販売を実現できたことは、土木工事にはつきものの年度末工事や追加工事にも素早く対応することができ、発注者側の信頼を勝ち得ることに大変良い影響があったと感じています。



(エコアコールウッド C 種ガードレールの部材)

4. 今後の展開

ここ数年の動きとしては、既存の木製ガードレール（他社製品）の木部の交換の依頼が九州各県から弊社に多数寄せられていることであります。2001年に実用化し世界遺産「厳島神社」にも2010年から毎年採用されているエコアコールウッドの実績やその性能や耐久性、無毒性が高く評価されているものだと伺っています。保存処理木材への再評価とその普及拡大につながる意味でも大変ありがたいことだと思っています。今後弊社としては木材利用促進法の主旨に沿っている木製ガードレールの更なる普及拡大に向け、①土中用だけではなく構造用の車両衝突試験の実施、②B種ガードレールの製造販売、③経年変化の調査研究による耐用年数とメンテナンス等に取り組み国産材の利活用の拡大に尽力していきたいと考えております。そして、保存処理技術や保存処理木材製品の普及拡大によって、日本の森林保全とCO₂の固定化によるカーボンニュートラルな脱炭素社会の実現に貢献していきたいと考えております。

今、日本全国には20万キロを超えるガードレールがあるそうです。（林道は除く）その内木製ガードレールはわずか245キロメートル、率にして0.12%だそうです。（令和元年度のデータ）仮に10%が木製ガードレールに置き換わったとすると国産木材の使用量、CO₂の吸収量にも貢献することになります。小さな木材利用の毎年少しずつの積み重ねと努力、凡事の徹底の継続こそが日本の未来と将来の子供たちへの素晴らしい環境をつくっていくことに貢献できると信じております。



（木部交換後）

（すみ ひろし：九州木材工業株式会社）



解説・主張

シカによって剥皮された サラサドウダンの樹皮の再生

阪上 宏樹



1. はじめに

シカによる森林資源への被害は、日本各地で多発しており、深刻な問題となっている。シカの多くは群れをなして餌を求めて広い範囲を移動し、嗜好する食性にある程度傾向があるため、生息地域における特定の植物や樹木への被害が目立つ。樹木への主な被害は樹皮への角こすりや、枝葉・樹皮・幼齢木の食害だが、被害部位が広範囲になると枯死に至る。その結果、樹木の欠損による生態系の変化、地力の低下による自然災害、樹病の発生、林業をはじめ森林生産物への影響など、森林がもつ公益的機能を著しく低下させるため、被害の低減は喫緊の課題である。

シカによる被害を低減させるため、狩猟による頭数管理が行われているが、狩猟地域や時期が限定されること、高齢化による狩猟者の減少など、十分な効果は得られていない。現在では、幼齢木を保護するためにツリーシェルターで覆ったり、幹に剥皮防止帯を巻くなどして樹木を保護したり、地域一帯を進入防止柵で囲うなどの対策が行われている。しかし、これらの対策に費やす労力や費用が多大であることから、少しでも被害を低減可能な効率の良い新たな対策法が求められている。

2. ハケ岳高原海の口自然郷におけるサラサドウダンの樹皮剥皮害

ハケ岳高原海の口自然郷（以下、自然郷とする）は、長野県と山梨県に跨がるハケ岳連峰の横岳東側山麓の標高 1375 m から 1905 m に位置し（写真 1）、放牧地だった荒れ地に 1963 年にカラマツが植林され、現在ではミズナラ、シラカバ、ウリハダカエデ、マユミ、ダケカンバなどの広葉樹と、シラビソやコメツガなどの針葉樹が生育している。2000 年以前は自然郷でシ



写真 1 自然郷内の美鈴池からハケ岳連峰横岳を眺める



写真 2 自然郷におけるシカの剥皮害
上:シラビソ、下:サラサドウダン

カを見ることは稀だったが2003年から2005年には高山植物をはじめとした草本類にシカの食害が発生し、その後は冬期を中心としてニシキギやマユミ、ナナカマド、シラビソで樹皮の剥皮害が発生した。近年では、植生が豊かな夏季にもサラサドウダンやリョウブ、シラビソなどで剥皮害が発生し、現在では冬期に針葉樹のシラビソやコメツガが、夏季にはサラサドウダンやリョウブが剥皮害を受けている（写真2）。

3. これまでの研究成果¹⁾

自然郷はサラサドウダンの群生地として知られているが、樹齢100年以上の古木もめずらしくない。6月上旬には釣り鐘状の花が咲き（写真3）、多くの観光客が見学に訪れ



写真3 サラサドウダンの花

る。しかし、近年、シカによる樹皮の剥皮害が深刻化しており、剥皮が原因で枯死したと推定されるサラサドウダン（写真4）を自然郷内で見るとはそれ程難しいことではない。一般に樹木はシカなどによって樹皮が剥がされると、樹皮と一緒に師部と形成層も剥がれるため、養分の輸送が遮断されてやがて枯死する。もしくは、多くの死細胞で構成される木部が露出するため、細胞分裂可能な細胞がほとんど存在せず、周囲の正常部位の細胞分裂で被害部位を修復しなくては



写真4 枯死したサラサドウダン

ならず、長い年月をかけて修復される前に腐朽などによって枯れてしまう。

シカに剥皮された自然郷のサラサドウダンも同じ理由で枯死したと考えられるが、一方で、シカによって剥皮されているにも関わらず、剥皮された部位が修復、もしくは再生し、枯れずに生存している個体が存在することがわかった。

サラサドウダンの被害の実態と被害後の状況を調査するため、シカの被害が多かった2015年8月に標高約1550mのサラサドウダン群生地に30m×30mのプロットを設け、プロット内に生育するサラサドウダンの被害木の本数、およびその中で樹皮が修復、もしくは再生した本数と、枯死した本数を計測した。

調査の結果、プロット内には57個体の株立状のサラサドウダンが分布し、1個体の株は1本～10本程度の幹から構成されており、57個体の幹の総数は184本だった。幹の太さの分布は、最も太い幹の周囲長は470mmで直径約15cm、最も個体数の頻度が高かった周囲長は151mm～200mmで直径約5～6cmの幹だった。5月でも日の出前の気温が氷点下を下回る日もある自然郷のサラサドウダンは肥大成長量が小さく、直径5cm程度の幹でも年輪数は60年輪程である。

184本の幹の剥皮状況を調査した結果、シカに剥皮された幹は83本、剥皮されていない幹が84本と、サラサドウダンの約半数がシカの被害を受けており、自然郷内のシカの剥皮害が深刻であることが改めて認識された。一方で、剥皮以外の原因で枯死したと考えられる幹は17本だったが、剥皮が原因で枯死したと考えられる幹はわずか3本だった。以上の調査結果から、調査プロット内のサラサドウダンは剥皮害を受けても枯死に至っていない幹が多く存在することが明らかとなった。

2015年8月の調査結果からは、シカによって剥皮された日時が特定できないため、調査した被害木の中には、周囲の正常な形成層が細胞分裂し、十数年規模の長い年月をかけて被害部を修復した個体や、2015年の調査直前に剥皮された被害木が混在していることが考えられる。

剥皮害を受けた部位を観察すると、修復、もしくは



(a) 白～緑色を呈した樹皮

(b) 茶色を呈した樹皮

(c) 正常部と同じ灰色を呈した樹皮

写真5 剥皮害を受けたサラサドウダンの樹皮

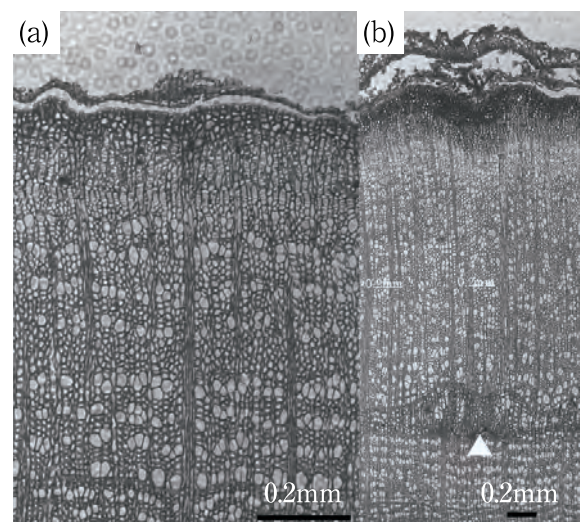
再生される段階で大きく分けて三種類の樹皮の状態に分類できた(写真5)。剥皮害を受けた直後と考えられる樹皮の状態は(写真5a)、白色、もしくは黄緑色を呈しており、剥皮部は水分を有した状態で、蟻が複数匹付着している個体もあった。茶褐色を呈した剥皮害部は(写真5b)、薄い樹皮状の組織で覆われており、容易に剥皮することができるが、薄い樹皮状組織の下層には写真5(a)と同様に白色、もしくは黄緑色の部位が露出した。剥皮痕は残っているが、正常部と同じ色の樹皮を呈した部位は(写真5c)、正常部程の樹皮の厚さはないが、正常部に類似した樹皮を有していると考えられた。以上の観察から、剥皮害後(写真5a)から時間の経過とともに、茶褐色の薄い樹皮状組織が形成され(写真5b)、正常部に類似した灰色の樹皮(写真5c)へと移行することが示唆されたが、どの程度の期間を要するかは不明である。

剥皮害を受けた後に形成された組織を調査するため、被害日時は不明だが、剥皮痕を有した幹の一部を2014年8月14日に採取し、FAA(ホルマリン5:酢酸5:エタノール60:蒸留水30)に固定した試料を顕微鏡観察した。正常部を観察した結果(写真6a)、サラサドウダンは環孔材に分類され、寒冷な自然郷内に生育する当該樹種は1年輪の幅が1mm以下であり、肥大成長が非常に遅いことがわかった。剥皮害部を顕微鏡観察した結果(写真6b)、傷害柔組織が存在しており(矢尻)、その時期に剥皮害を受けたと考えられた。更には、傷害柔組織から形成層の間に晩材や環孔材特

有の孔圏道管(長径の接線状配列の道管)を確認することができないため、十数年規模で周囲の正常な形成層から修復されたのではなく、被害後も同部位で継続して細胞分裂し、極めて短期に被害部位が再生したと考えられた。

仮説を検証するため、2019年に剥皮害を発見し、その後樹皮の再生を確認した幹表面を同年8月に採取し、顕微鏡観察した(写真7)。その結果、被害部表面付近には、明らかに樹皮と判断できる組織や通常の木部や形成層付近に観察される繊維状の細胞は存在せず、核を有した小径の正方形もしくは長方形の細胞のみが存在した。

以上のこれまでの研究結果から、サラサドウダンはシカによって樹皮を剥皮されても、継続して細胞分裂

写真6 2014年に採取したサラサドウダンの正常部(a)と被害部(b)の顕微鏡写真¹⁾

し、短期間で剥皮部位が再生されることが示唆された。しかし、細胞分裂を行っているのはどの組織なのか、どの程度の期間で樹皮が再生されるのか、枯死する個体も存在するため、枯死と再生を決定付ける因子は何か、樹皮が同様に再生する樹種は他に存在するのかなど、多くの疑問が浮上した。

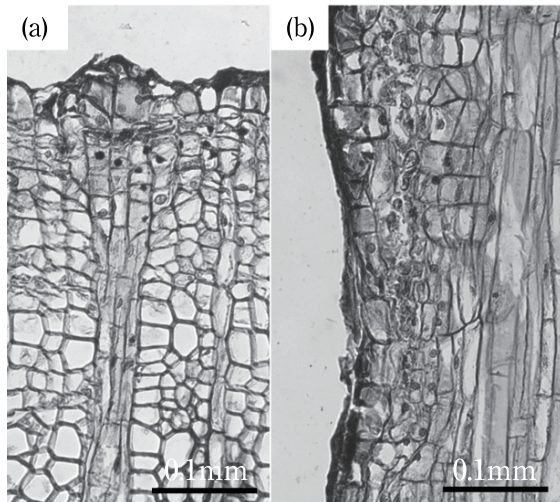


写真7 2019年に採取したサラサドウダンの被害部の横断面(a)と放射断面(b)の顕微鏡写真¹⁾

4. 2021年の研究の取り組みと今後の展開

これまでの研究結果は、年に1~2回の調査とサンプリングから得られた知見だが、更なる疑問を解明するためには、頻りに現地を訪問し、剥皮害を受けた正確な日付と、その後の樹皮の再生状況を調査する必要がある。筆者は三井物産(株)の研究助成を受け、2021年5月から9月まで長野県南佐久郡南牧村野辺山に滞在する機会を得ることができ、その期間、隔日で試験地内を調査した。主な調査内容は、樹皮の引張り試験による剥離しやすい時期の調査、形成層の活動時期を調べるため定期的な形成層のサンプリング、剥皮害を受けた日付と被害木数、その後の樹皮の再生状況を記録するとともに、被害部位のサンプリングを行った。

その結果、サラサドウダンの剥皮害はある特定の時期に限定されること、その時期は樹皮が剥がれやすい時期に含まれるが完全には一致しないこと、剥皮害後の極めて短期間に樹皮が再生され始めることなど、多くの興味深い知見が得られた。更には、樹皮が再生される樹木はサラサドウダンのみではなく、少なくとも数種類は存在することがわかった。2021年度の研究

成果の詳細については、今後の学会発表、および論文発表を待たれたい。

2022年度以降の調査については、2021年度調査の繰り返し試験による樹皮再生の再確認を行うとともに、サラサドウダンの被害時期がなぜ限定的なのか、サラサドウダン以外の樹種ではどの程度の期間で樹皮が再生するのかなどを調査し、樹皮の再生メカニズムを解明したい。

5. おわりに

本研究は、自然郷内に生育するサラサドウダンの剥皮害を少しでも低減できないかと、被害の現状を現地調査したことが発端である。50年かけてわずか直径5cm程度しか成長しない幹が、シカの一撃で枯れてしまうのは非常にいたたまれない。一方で、サラサドウダンの生命力も力強く、我々の心配を他所に樹皮を剥がされてもその多くの樹皮は、再生され、生きながらえている。自然郷内のサラサドウダンの被害時期は短期間に限定されるため、その時期のみに絞った対策が可能である。更には被害を受けても多くの樹皮は再生するためあまり心配する必要はなく、古木や特定の重要な個体を剥皮防止帯などで保護すればよい。しかし、自然郷のサラサドウダンは特殊な事例であり、他の地域、他の樹種で、本研究がどの程度参考になるかわからない。本研究をきっかけとして、同様な特徴を有した樹種が多く見つかり、少しでもシカ剥皮害の対策の一助になることを期待したい。

引用文献

- 1) 阪上宏樹、後藤栄治、新津栄市、和田正三：ハケ岳高原海の口自然郷内に群生するサラサドウダンのシカによって剥皮された樹皮の再生状況. 日本木材学会誌 67(4), 188-196 (2021).

謝辞

本研究の一部は三井物産株式会社三井物産環境基金の研究助成(案件No. R19-0042)を賜り実施した。調査および試料採取では株式会社ハケ岳高原ロッジ関係各位に多大なる協力を賜った。心より御礼申し上げます。

(さかがみ ひろき：九州大学大学院農学研究院)

資料

九州の広葉樹 3
—ヤブツバキ—

内海 泰弘



九州に生育する広葉樹の中でツバキという木の名前を耳にした事がある人が多いかもしれません。正式にはヤブツバキがこの木の和名とされています。ヤブツバキは樹高 12m, 幹の直径 30 ~ 40cm になる常緑高木です。日本の照葉樹林の基本的な構成種で、本州, 四国, 九州, 沖縄, 台湾に分布します。本州北部では沿岸部にかろうじて分布するだけです。九州では沿岸から内陸まで広く生育しているので目にする機会が多くあります。ヤブツバキの葉は黄緑色の楕円形で、縁にはまばらに鋸歯があります。ツバキの語源は「厚葉木」から、あるいは「つや葉木」から取られたと言われており、葉が厚い、あるいは照り輝くというツバキの葉の特徴を表していますが、個人的には陽の光を受けて輝くツバキの葉が印象的なので、つや葉木説がしっくりきています。ツバキの名が初めて文献に登場するのは日本書紀からと古く、万葉集には「巨勢山のつらつらツバキつらつらに見つ思（しの）はな巨勢の春野を」とあり、「つらつら」とは「つるつる」を意味し、光沢のある葉が万葉の歌人にも印象的だったのではないかと考えています（写真 1）。この歌の春の文字からツバキの文字が「椿」になったといわれています。一方で、中国では「椿」はセンダン科のチャンチン（*Cedrela sinensis*）を意味します。日本では「椿」のほかに「海石榴」などがツバキの漢字としてあてられていましたが、早春の山野の風景を彩るツバキにはやはり「椿」のほうが合っていると感じます。属名の *Camellia* はフィリピンに滞在したイエズス会の宣教師で植物学者の Georg Kamel 氏にちなんで分類学の父と称されるリンネにより名付けられました。この属名はそのまま英語でもツバキを意味します。



写真 1 陽光を浴びて輝くヤブツバキの樹冠

ツバキの花は冬から春にかけて咲き、深い紅色は昔から多くの人々を魅了してきました。（写真 2）



写真 2 (ヤブツバキの花 3月初旬)

ツバキの仲間は東アジアが原産ですが、18世紀にはヨーロッパでも知られるようになりました。江戸時代後期に長崎出島に滞在した医師で博物学者のシーボルトは、当時ツバキがヨーロッパの人々に広く愛好されて、多数の品種が作られていることを記しています。このシーボルトの「日本植物誌（大場秀章監修）」でシーボルトは「1739年以降やっとその存在が知られるようになり、その時代にピーター卿によってイギリスに移入されたツバキは、ヨーロッパの津々浦々に広がり、植物についてこういう事が言い得るのはまれなことだが、いわば文化の幅を広げることになったのである。ツバキのこのような栄誉は、その本来の美しさによると同時に...無数の変種を作り出す自由があることによる」と絶賛しています。日本に生育している1種の木の花が異国の文化に大きな影響を与えた稀有な例としてツバキの花を眺めると、また異なった趣を感じます。現在でも日本だけでなくアメリカやヨーロッパでもツバキを愛好する人たちが様々な品種を育成しており、九州にもいくつものツバキを鑑賞できる公園、庭園があります。

ツバキは花を賞するだけでなくその実（写真3）から取れる椿油が燈用や食用、機械油、日本刀のさび止めなど様々な用途に用いられてきました。



写真3 ヤブツバキの実(7月下旬)

整髪料としても日本で古くから使われており、椿油の成分が含まれたシャンプーも広く市販されています。産地としては東京都の伊豆諸島と長崎県の五島列島が有名で、中でも伊豆諸島の利島は循環型の農業としてヤブツバキを植栽しています。秋から冬にかけて実を拾い、乾燥させた後に压榨、精製して椿油を作ります。まだ食べたことはありませんが食用油としては味があっさりしてくせがなく天ぷらに良いとのことで、一度賞味してみたいものです。

ヤブツバキからは重く強靱で堅い良材が得られます。建築、器具、機械、楽器、船舶、彫刻材などのほかに薪炭など様々な用途に用いられてきました。材を燃やした後の灰も草木染の灰汁として活用されています。

(うつみ やすひろ：九州大学大学院農学研究院)

[編集後記]

木科学情報 28 巻 3 号をお届けします。

巻頭言では木材学会九州支部で理事を務められている九州大学の近藤先生から若い研究者だけでなく、シニア世代が「唯一無二」を目指すことの大事さを説いていただきました。編者も微力ながら頑張らなければならないと感じています。

宮崎大学の亀井先生には木材学会賞を受賞された内容を含めてこれまで取り組まれてきた一連のご研究を特別寄稿として紹介いただきました。

九州木材工業の角様には木製ガードレールの開発物語と現在の設置状況についてご紹介いただきました。持続可能な社会を実現する一つの方法として木製ガードレールがこれまで以上に普及していくことを期待しています。

九州大学の阪上先生にはシカの剥皮害からのサラサドウダンの回復過程を紹介いただきました。シカが高密度で分布する地域では剥皮害に強い樹木の選択的植栽が森林保護に寄与する可能性があるのかもしれませんが。

以上、木科学情報に執筆いただきました皆様に厚く御礼申し上げます。今後も木材学会九州支部の方のみならず、木材の科学や利用に興味のある皆様の積極的な投稿をお待ちしています。

内海 泰弘

[各種問い合わせ先]

●支部全般に関わること（総務：巽 大輔）

E-mail: tatsumid@agr.kyushu-u.ac.jp Tel/Fax : 092-802-4670

●会費、入退会に関わること（会計：清水邦義）

E-mail: shimizu@agr.kyushu-u.ac.jp

●木科学情報に関わること（編集：内海泰弘）

E-mail: utsumi@forest.kyushu-u.ac.jp Tel: 0156-25-2617 Fax: 0156-25-3050

●支部ホームページ

<http://rinsan.wood.agr.kyushu-u.ac.jp/index.html>

木科学情報 28 巻 3 号

2021 年 12 月 26 日発行

編集人 堤 祐 司

発行所 一般社団法人 日本木材学会九州支部

発行人 松 村 順 司

〒 819-0395

福岡市西区元岡 744

九州大学大学院農学研究院環境農学部門

サステナブル資源科学講座内

Tel/Fax : 092-802-4670

※著者以外の方が本誌に掲載された論文・記事等を複写あるいは転載する場合には本誌編集委員会にご連絡ください。

